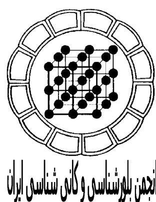
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی‌ام، شمارۀ اول، بهار ۱۴۰۱، از صفحۀ ۸۹ تا ۱۰۲



خاستگاه کانیایی اسکارن‌های گنبد نمکی زندان، استان هرمزگان

مریم شهری، سیدمحسن مرتضوی*، عبدالرحیم هوشمندزاده

گروه زمین‌شناسی، دانشکده فارابی، دانشگاه هرمزگان

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۱۱، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۵/۱۲)

چکیده: سازند هرمز در گنبدنمکی زندان، با سن کامبرین پیشین- نئوپروتوزوییک در نزدیکی بندرلنگه، غرب استان هرمزگان واقع شده است. اسکارن‌های کلسیمی آهن‌دار در نزدیکی توده‌های آذرین بازی دارای نهشته مس در این گنبدنمکی دیده می‌شوند. سنگ‌میزبان این اسکارن‌ها شامل توالی رسوبی آواری-کربناتی، توفیت‌های کربناتی و سنگ‌های آذرین است. مجموعه سیلیکات‌های آهکی شاخص در درون‌اسکارن‌ها شامل گارنت‌های نوع گراندیت (آندرادیت- گروسولار)، فلدسپارها، کلینوزوئیزیت، اکتینولیت، ولاستونیت و وزوویانیت هستند. مجموعه سیلیکات‌های آهکی در برون‌اسکارن‌های گارنت بیشتر از نوع آندرادیت، اپیدوت، اکتینولیت و ولاستونیت هستند. بر اساس تجزیه ریز پردازشی، طیف ترکیب گارنت‌ها از $And_{30}Gross_{70}$ تا $And_{100}Gross_{0}$ متغیر است. بررسی شیمی بلور نشان می‌دهد که توزیع عناصر فلزی چون Cu، Mn و Zn در درون‌اسکارن‌ها و برون‌اسکارن‌ها به طور اصولی تغییر می‌کنند. بررسی سیال‌های درگیر از کانی آندرادیت نشان می‌دهد که این اسکارن‌ها در دمای ۶۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد تشکیل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: *اسکارن‌های کلسیمی آهن‌دار؛ گراندیت؛ ولاستونیت؛ سیال‌های درگیر؛ گنبدنمکی زندان.*

مقدمه

نزدیک به ۲۰۰ عدد گنبد نمکی در جنوب ایران رخنمون یافته‌اند که در مرز بین دو گسل کازرون و میناب بر اثر فازهای کششی رخداد کوهزایی کاتانگایی ایجاد شده‌اند. این فاز کوهزایی منجر به انباشته‌شدن رسوب های تبخیری، کولابی به همراه روانه‌های آذرین شده‌است [۱]. هر گنبد نمکی شامل یک هسته مرکزی نمکی و سنگ‌های دربرگیرنده آن یا پوش‌سنگ است. سنگ‌های دربرگیرنده، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی- دگرنهاده هستند. این گنبدها اغلب گروه فارس را قطع کرده و سر برافراشته‌اند. در بیشتر گنبدهای نمکی، سطح بالایی با طبقه‌هایی از سنگ‌های رسوبی پوشیده شده‌اند که از هسته مرکزی جوانتر هستند. این سنگ‌ها ستبرای پوش‌سنگ گنبدهای نمکی هستند که ضخامت آنها گاهی به چند صد متر می‌رسد و با رسوب‌های نمکی هرمز به شکل مجموعه سنگی یا سری شناخته می‌شوند.

تراشکافت نمکی زندان از گنبدهای نمکی جنوب ایران است که در آن اسکارن‌های کلسیمی آهن‌دار وجود دارند. اسکارن‌های کلسیمی آهن‌دار در برخی از گنبدهای نمکی و گنبدنمکی زندان در نزدیکی بندرلنگه دیده شده و کمتر بررسی شده‌اند. این اسکارن‌ها گاهی با توده‌ای از سنگ‌های معدنی فلزی چون آهن و مس همراه هستند.

از بررسی‌های انجام شده بر این گنبدنمکی می‌توان به پژوهش بیابانگرد و همکاران اشاره کرد [۲]. آنها با نگرش زمین‌شناسی اقتصادی، کانی‌شناسی، زمین شیمی و خاستگاه کانه‌زایی آهن و مس در توالی آتشفشانی- رسوبی گنبدنمکی زندان را بررسی کرده و آن‌ها را از نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد، VMS، معرفی کردند [۳،۲]. بر پایه پژوهش عطاپور و آفتابی [۴]، پیرامون کانی‌سازی آهن در این گنبد، کانه‌زایی آهن از نوع راپیتان است. در این پژوهش برای نخستین بار اسکارن‌های آهن و در گنبدهای نمکی جنوب ایران خاستگاه آن‌ها معرفی می‌شود.

گنبد نمکی زندان در ۸۰ کیلومتری شمال شهرستان

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۷۶۳۳۷۱۱۰۰۰، پست الکترونیکی: hsm_mortazavi@yahoo.co.uk

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]

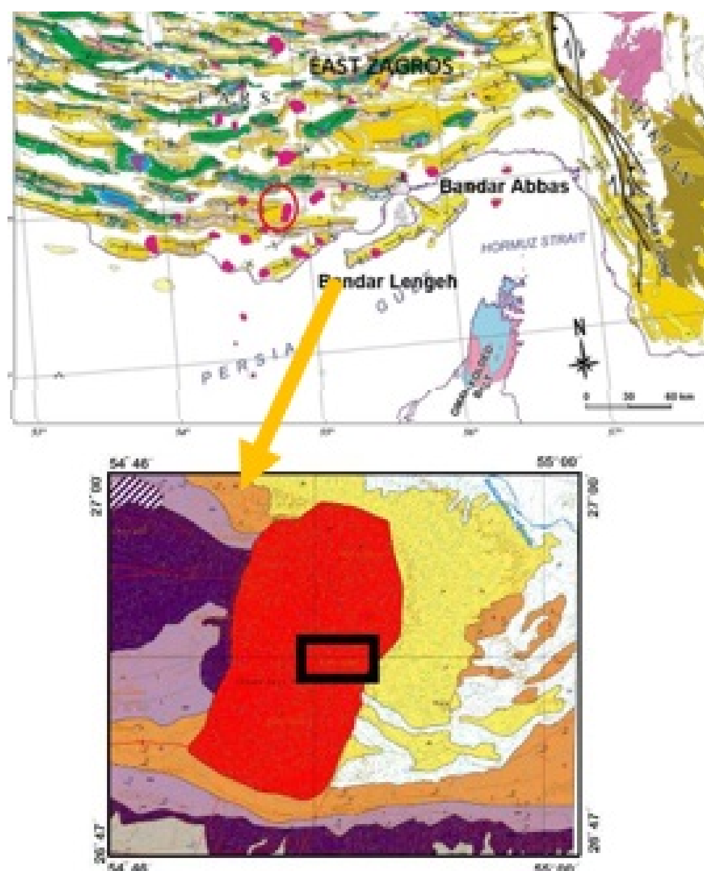
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

بندرلنگه و ۱۱۰ کیلومتری غرب شهرستان بندرخمیر در استان هرمزگان قرار دارد. مهمترین راه دسترسی به گنبدنمکی زندان جاده بندرعباس- بندرخمیر- بندرلنگه است.

زمین‌شناسی و روابط صحرایی

گنبدهای نمکی از پدیده‌های ویژه زمین‌شناسی در جنوب ایران هستند. به طور کلی، سری هرمز نظم چینه‌ای ندارد و به چهار عضو H1، H2، H3 و H4 تقسیم شده است. واحد اصلی نمک هرمز، H1، نزدیک به ۶ کیلومتر در عمق بوده و با سنگ‌های رسوبی پوشانده شده‌است [۵-۹]. گنبد نمکی زندان شامل سنگ‌های تبخیری چون سنگ گچ و انیدریت و اغلب همراه با کربنات‌های سیاه رنگ بدبو، ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا بازی است [۱۰،۱۱]. سنگ گچ‌های برشی شده اغلب در لبه گنبد یافت می‌شوند و رنگ آن‌ها بستگی به سنگ‌های کنار آنها دارد که شیل‌های سیاه و دولومیت‌ها تنها در بخش شمال‌غربی این گنبد یافت می‌شوند. سنگ‌های آهکی با رنگ روشن‌تر همراه با مارن‌های بین‌لایه‌ای هستند که در جنوب شرق وجود دارند. سه توالی سنگ‌شناسی در این گنبد نمکی قابل تشخیص هستند: ۱) شیل‌های دگرسان شده همراه با لای‌سنگ و ماسه‌سنگ‌های خاکستری تا بنفش، ۲) شیل‌های قرمز همراه با ماسه‌سنگ‌های سبز و سنگ‌های آتشفشانی که در یک محیط دریایی کم عمق ته‌نشین شده‌اند و ۳) شیل‌های سبز و قرمز با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگی که به احتمال بسیار این لایه‌ها توالی انتقالی بین دو توالی پیشین هستند [۱۲]. در شمال این گنبد و در بخش شرقی تاقدیس، گچ در تماس با سازند میشان قرار دارد. در قسمت جنوبی، ساختار ناودیسی در سنگ‌های رسوبی دیده می‌شود که در تماس با سازند آغاجاری است.

گنبد نمکی زندان مانند دیگر گنبدها طی صعود، رسوب‌های سنوزوئیک کناری را چین داده است [۱۳]. سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی- رسوبی، گاهی تا ۹۰ درجه شیب‌دار، و در اثر عوامل زمین‌ساختی خرد شده و بر واحدهای تبخیری گنبد فرو ریخته‌اند. شرایط فشار همراه با بالا آمدن گنبد نمک، افزون بر خردشدگی سنگ‌های رسوبی پوش‌سنگ، منجربه دگرگونی‌های درجه پایین شده است (شکل ۱).



شکل ۱ گنبدهای نمکی جنوب ایران و منطقه مورد بررسی واقع در گنبد نمکی زندان [۱۳].

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

روش کار

به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، پس از مطالعه اسناد موجود و تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش‌های صحرایی، تعداد ۲۰ مقطع نازک و نازک صیقلی تهیه شده و با میکروسکوپ قطبشی بررسی سنگ‌نگاری شدند. سپس، این نمونه‌ها برای بررسی شیمی بلور به آزمایشگاه کانساران بینالود ارسال شدند. آنها با روش‌های پراش پرتوی ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و با ریزپردازشگر پرتوی ایکس XGT-7200 برای ۵۰ نقطه از کانی‌های اسکارنی تجزیه شدند. افزون بر این برای دماسنجی اسکارن‌ها، سیال‌های درگیر در گارنت‌های موجود بررسی شدند.

سنگ‌شناسی

گنبد نمکی زندان مانند سایر گنبدهای نمکی جنوب ایران شامل واحدهای آذرین، دگرگون و رسوبی است که برخی از سنگ‌ها وابسته به مجموعه هرمز و برخی مربوط به واحدهای سنوزوئیک زاگرس (میشان، آقاجاری و بختیاری) هستند. نمک به عنوان قدیمی‌ترین واحد سری هرمز تنها در برخی مناطق این گنبد نمکی برونزد دارد. واحدهای زیرین مارن‌هایی با لایه‌های غنی از هماتیت، هستند که به صورت دگرشیب در زیر همه واحدها قرار دارند (شکل ۲ ب) و در بخش‌هایی دارای لایه‌های انیدریتی هستند. لایه‌های مارن، انیدریت، توف ریولیتی و توده‌های حدواسط تا بازی (شکل ۲ الف)، دولومیت‌های قرمز، زرد و خاکستری در گنبدنمکی دیده می‌شوند. در سال‌های اخیر مشخص شده است که سنگ‌های رسوبی سری هرمز در اثر فرایندهای گرمابی و دگرگونی گاه تمام بلورین شده و بافت‌های نواری در آن‌ها دیده می‌شود. آهک‌های دولومیتی زرد رنگ در کنار مارن‌های قرمز سنگ گچ‌دار از بخش H1 سری هرمز مشاهده می‌شود (شکل ۲ پ). این آهک‌ها گاهی دارای فعالیت‌های باکتریایی هستند یا به توالی ماسه‌سنگی توفیتی می‌رسند.

توده‌های آذرین با ترکیب های حدواسط و بازی، به صورت توده‌های کوچک پراکنده وجود دارند که در کنار واحدهای کربناتی هستند و بر واحد مارنی سنگ گچی قرار دارند. طیف ترکیبی آن‌ها شامل دیاباز، میکروگابرو، کوارتزدیوریت و گاهی بازالت است. توده‌های بازی در گنبدنمکی زندان با کانسارهای مس همراه هستند. اپیدوتی‌شدن، کلریتی و هماتیتی شدن از ویژگی‌های بارز آن‌ها هستند. کانسارهای آهن بیشتر در سنگ‌های رسوبی وجود دارند. قطعه سنگ‌های اسیدی با دگرسانی شدید به شکل قطعه‌های سرگردان نیز در میان کربنات‌ها دیده شده‌اند (شکل ۲ ب). ترکیب‌های دیده شده در این قطعه‌های سنگی شامل ریوداسیت، گرانیت و توف ایگنیمبریت با شکل نواری هستند که گاهی بر اثر دگرسانی هماتیتی و مگنتیتی شده‌اند و کانی‌های آهنی از جمله پیریت در آن‌ها دیده می‌شود. سنگ میزبان همراه با آن‌ها به شکل قطعه‌های سنگی شامل قطعه‌های آهکی و کنگلومرایی با دگرسانی شدید همه از مجموعه هرمز دیده شده است.

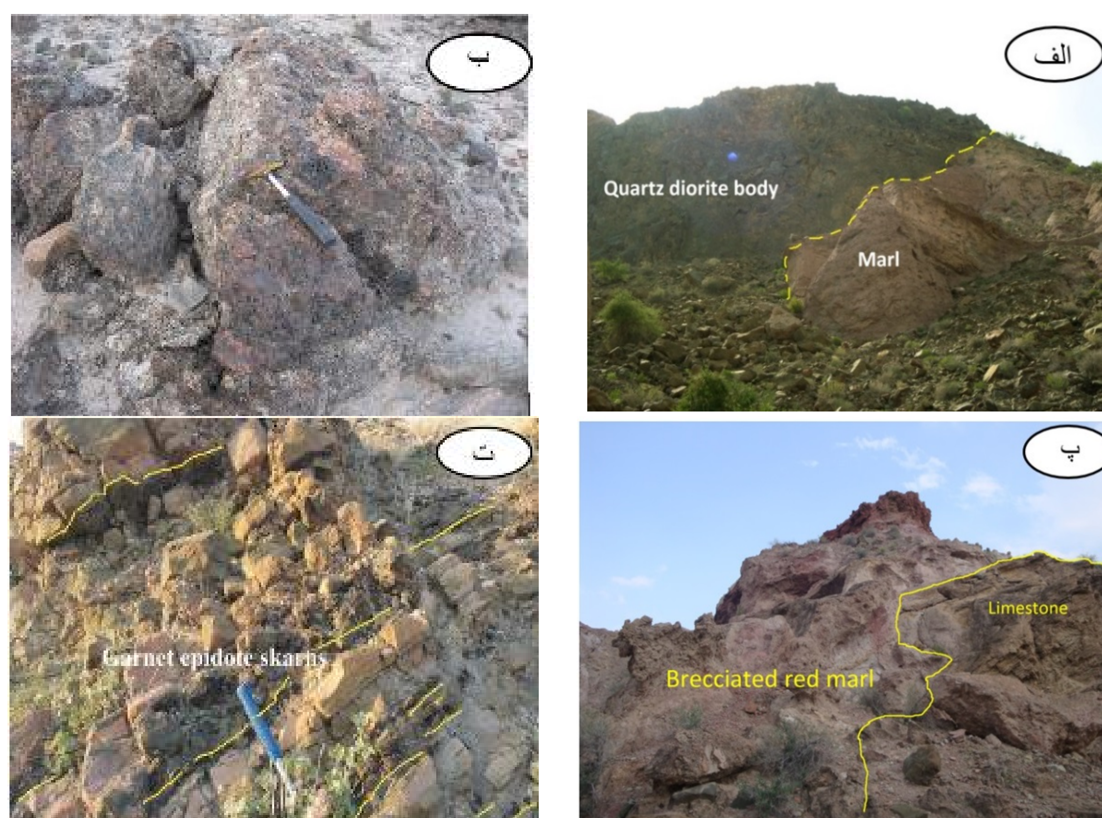
بحث

اسکارن و کانی‌زایی

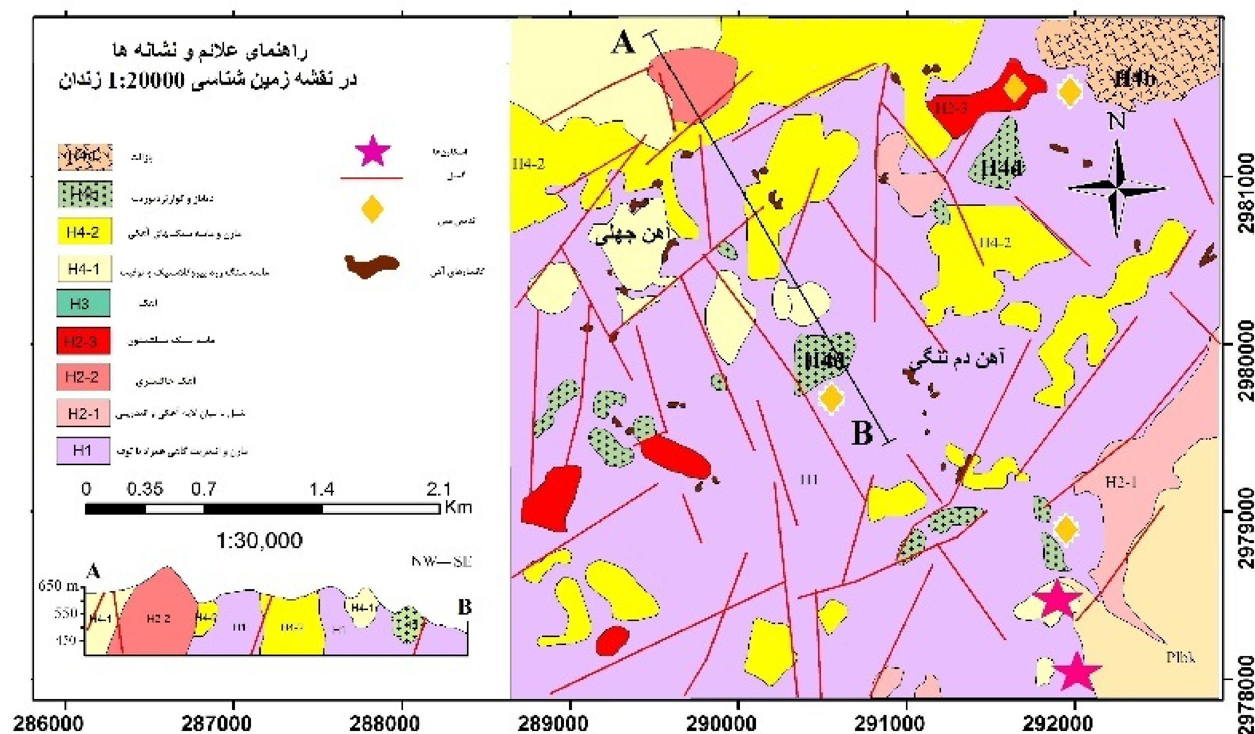
اسکارن به عنوان سنگی آهکی‌سیلیکاتی و همراه با کانسارهای فلزی معرفی شده است که می‌تواند برای بررسی ذخایر همراه آنها بسیار ارزشمند باشد. اسکارن آهن در گنبد نمکی زندان بین‌لایه‌ای و به شکل عدسی و کمتر به صورت رگه‌ای در سنگ‌های میزبان دیده می‌شود (شکل ۲ ت). بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که بیشتر واحدهای اسکارنی با رخنمون‌های کمی سالم به صورت قطعه‌ها و لایه‌های سنگی بر بخش مارنی سنگ گچی قرار دارند. این اسکارن‌ها، در نزدیکی دیابازهای مس‌دار و درون سنگ‌های کربناتی یافت شده‌اند (شکل ۳) و دارای کانی‌های فراگرمایی و گاه فلز طبیعی مس به همراه اپیدوت هستند. کربنات‌های مس از جمله مالاکیت و سولفیدهای مس مانند کالکوپیریت در این ذخیره یافت می‌شوند.

کانی‌سازی در سنگ‌های اسکارنی به دو شکل دیده می‌شود. یکی در فضاهای باز سنگ‌ها که در آن کانی‌ها بیشتر به صورت بلورهای شکل‌دار هستند و دیگری درون سنگ میزبان که بیشتر دسته‌های کانی را به شکل‌های نواری لایه‌ای می‌توان مشخص کرد. عواملی چون ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ میزبان و میزان نفوذ سیال‌ها به درون رسوب‌های آهکی شکل کانی‌زایی در این اسکارن‌ها را کنترل می‌کنند. با توجه به حضور سیلیکات‌های آهکی آهن‌دار در سنگ‌های رسوبی آهکی شرق گنبد نمکی زندان، دو نوع اسکارن قابل تشخیص است؛ درون‌اسکارن‌ها در لبه توده‌های آذرین و در توفیت‌ها و برون‌اسکارن‌ها در سنگ‌های رسوبی آهکی پیرامون توده قرار دارند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]



شکل ۲ الف- مرز بین توده کوارتزدیوریتی و مارن‌های برشی‌شده. ب- قطعه سنگ‌های آذرین اسیدی سرگردان در کربنات‌ها با دگرسانی شدید. پ- توالی مارن برشی‌شده سنگ گچ در تماس با آهک‌های دولومیتی نازک‌لایه زردرنگ. ت- گارنت به صورت بین‌لایه‌ای و عدسی‌شکل در لایه‌های ماسه‌سنگی.

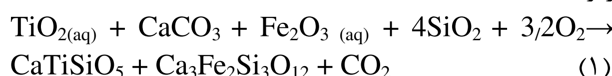


شکل۳ بخشی از نقشه زمین‌شناسی یکصدهزار بندرلنگه و موقعیت اسکارن‌ها در گنبد نمکی زندان به همراه نقشه زمین‌شناسی 1:20000.

برون‌اسکارن‌ها

برون‌اسکارن‌ها در سنگ‌های میزبان ماسه‌سنگی، کنگلومرایی و آهکی دولومیتی زردرنگ در کنار کانسار آهن دیده می‌شوند. سنگ‌ها در برون‌اسکارن دارای منطقه‌بندی شیمیایی و لایه-بندی به رنگ‌های مختلف هستند. این اسکارن‌ها بیشتر شامل بخش‌های غنی از آندرادیت به رنگ سیاه، بخش‌های اکتینولیت‌دار به رنگ سبز تیره و بخش‌های اپیدوت‌دار به رنگ سبز روشن هستند (شکل ۴). سایر کانی‌های دیده شده در ادامه شرح داده می‌شوند.

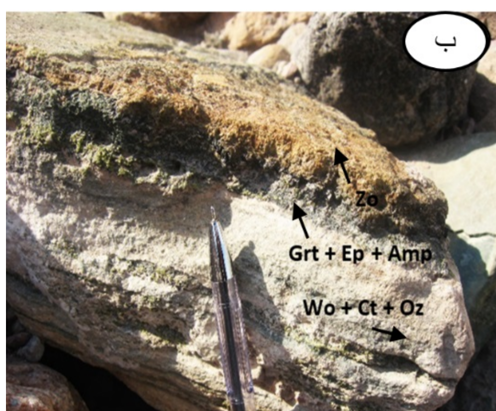
تیتانیت: تیتانیت ($CaTiSiO_5$) به همراه آندرادیت ($Ca_3Fe_2Si_3O_{12}$) در برخی از سنگ‌های متاکربناتی دیده می‌شود. در تصویر میکروسکوپی، بلورهای گوه‌ای شکل آن در لبه بلور آندرادیت تشکیل شده‌اند (شکل ۵ الف). واکنش احتمالی تیتانیت‌ها در برون‌اسکارن همراه با آندرادیت بصورت زیر است:



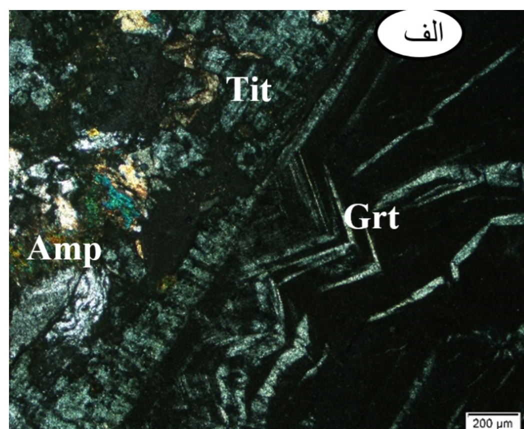
$$TiO_{2(aq)} + CaCO_3 + Fe_2O_{3\,(aq)} + 4SiO_2 + 3/2O_2 \rightarrow CaTiSiO_5 + Ca_3Fe_2Si_3O_{12} + CO_2 \quad (1)$$

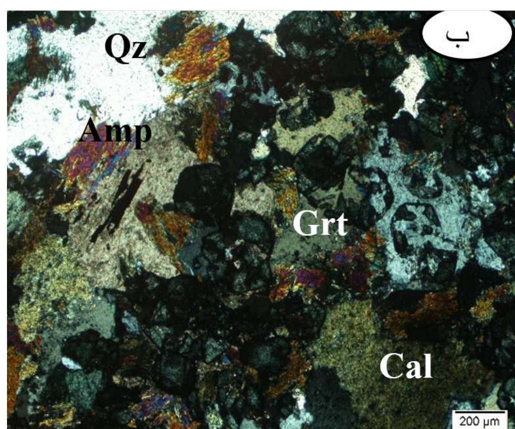
گارنت: گارنت‌های نوع گراندیت که ترکیبی بین آندرادیت و گروسولار دارند، به رنگ‌های سیاه، سرخ، قهوه‌ای و گاهی سبز در برون‌اسکارن‌ها دیده شده‌اند. گارنت‌ها اغلب با اکتینولیت و کوارتز همراه می‌شوند و با اپیدوت‌ها به شکل انبوهه در کنار هم هستند. کانی پیروکسن به احتمال بسیار در مراحل اولیه اسکارن‌زایی (مرحله تشکیل کانی‌های بی‌آب) به وجود آمده اما به تدریج به خرج گارنت‌ها کاهش یافته است (شکل ۶ الف). بقایای بسیار کم پیروکسن در برخی از گارنت‌ها باقیمانده است.





شکل ۴ الف- تشکیل آندرادیت در برون‌اسکارن به همراه نوارهای کوارتزی در سنگ کربنات. این گارنت‌ها دربردارنده میانبارهای تیتانیت هستند (مقطع میکروسکوپی آن در شکل ۵ نشان داده شده‌است). ب- نمونه سنگ برون‌اسکارن با نوارهایی غنی از گارنت+ اپیدوت+ آمفیبول و بخش‌های دارای ولاستونیت + کلسیت و کوارتز.

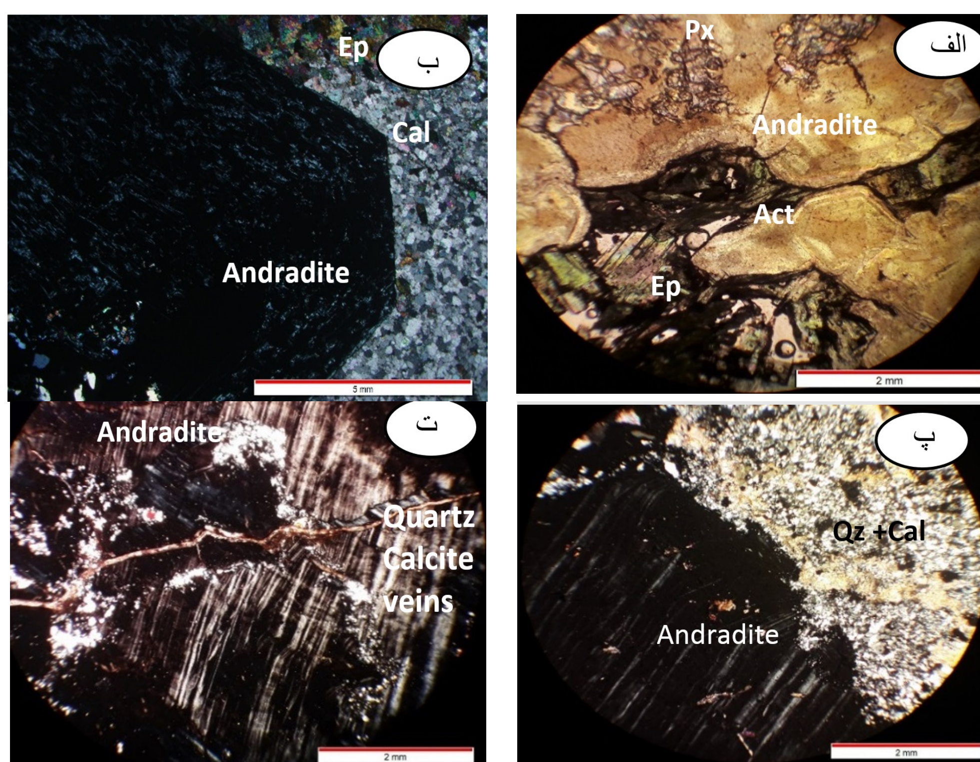




شکل ۵ الف- گارنت درشت دارای منطقه‌بندی ترکیبی متفاوت در دو ضخامت رشدیافته در لبه آن. حضور میانبارهای تیتانیت و آمفیبول در لبه این کانی. ب) گارنت‌های شکل‌دار به همراه اکتینولیت و کانی‌های کدر. گارنت گاهی دستخوش نفوذ سیلیس در مرحله پسرونده شده است تصاویر در نور قطبیده متقاطع (xpl) تهیه شده اند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]



شکل ۶ الف- گارنت نوع آندرادیت با بقایایی از دیوپسید و میانبارهای اکتینولیت و اپیدوت در بلور درشت آن در نور قطبیده صفحه ای، (Ppl). در این سنگ، گارنت به خرج پیروکسن و کلسیت تشکیل شده است، ب- تشکیل گارنت بدون منطقه‌بندی در گارنت اپیدوت اسکارن. سنگ حالت مرمری دارد(Xpl)، پ- مرز بین آندرادیت و زمینه‌سنگ لای دار. دانه‌های کوارتز با بافت دندانه دار به همراه رگچه‌های فراوان از کلسیت (Xpl) و ت- حضور رگه‌ها و رگچه‌های کلسیت و کوارتز در گارنت(Xpl).

آمفیبول‌های سری اکتینولیت- ترمولیت همراه با گارنت‌های نوع آندرادیتی و یا در نوارهایی جداگانه همراه با کوارتز تشکیل شده‌اند. این کانی در متاکربنات‌های ناخالص و در مناطق کوارتزدار در متاکربنات‌ها به وجود آمده است. واکنش تشکیل گارنت نوع آندرادیت همراه با اکتینولیت ($Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$)، در برون‌اسکارن‌ها به صورت زیر است:

$$5CaMg(CO_3)_2 + 11SiO_2 + 7Fe^{+3}_{(aq)} + H_2O + 4O_2 \rightarrow Ca_2(Mg, Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2 + Ca_3Fe_2Si_3O_{12} + 5CO_2$$

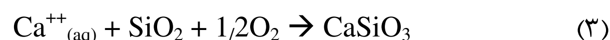
در این واکنش، با ورود سیال به دولومیت ($CaMg(CO_3)_2$)، آندرادیت و اکتینولیت تشکیل می‌شوند. از این واکنش می‌توان به اثر ترکیب سنگ میزبان از نظر مقدار عناصر Si، Mg و Ca بر تشکیل مجموعه‌های کانی در لایه‌های جداگانه پی‌برد. برای مثال، لایه‌هایی با ترکیب‌های دولومیت، آمفیبول نوع اکتینولیت دارند. کربنات‌های آندرادیت‌دار و با آندارِدیت خودشکل درشت در زمینه‌ای از کلسیت‌های متبلور در شکل ۶ ب، دیده می‌شوند. مرمری‌شدن گاهی در سنگ‌های آهکی نزدیک به توده نفوذی دیده شده است. در این سنگ‌ها، گارنت‌های گراندیتی خودشکل درشت به قطر ۲ سانتی‌متر همراه با اپیدوت‌های شکل‌دار یافت می‌شوند.

چنان که دیده می‌شود، گارنت از کانی‌های اصلی در برون-اسکارن‌هاست که گاهی به تنهایی در حفره‌های سنگ‌ها تشکیل می‌شود. گارنت‌هایی نیز همراه با رگچه‌های کلسیتی و کوارتز یافت شده‌اند که می‌تواند نشان‌دهنده نفوذ سیال‌های تاخیری به درون سنگ باشد.

اپیدوت: اپیدوت‌های بسیاری در سه محیط کانی‌زایی درون-اسکارن، برون‌اسکارن و محیط نهشت سیال‌های گرمابی حضور دارند. آن‌ها بسته به اینکه از سیال‌های آغازین یا پایانی متبلور شده باشند، مانند گارنت‌ها ترکیب‌ها و رنگ‌های متفاوتی دارند.

ولاستونیت: از دیگر کانی‌های موجود در سنگ‌های برون‌اسکارن و نیز درون‌اسکارن ولاستونیت است. ولاستونیت به شکل بلورهای بسیار ریز کشیده و بی‌رنگ همراه با کلسیت و کوارتز سبز دیده می‌شود. ولاستونیت نشان‌دهنده شرایط وجود

محلول‌های غنی از Ca در درون‌اسکارن‌هاست. کلسیم از سنگ آهک با افزایش دما آزاد شده و همراه سیال‌ها به درون سنگ آذرین نفوذ کرده و منجر به تشکیل ولاستونیت می‌شود [۱۴]. واکنش آن به صورت زیر است:

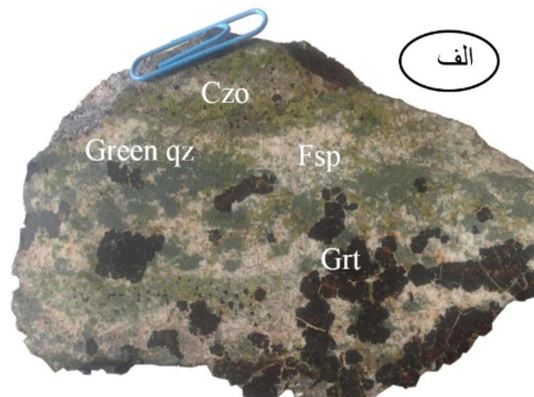


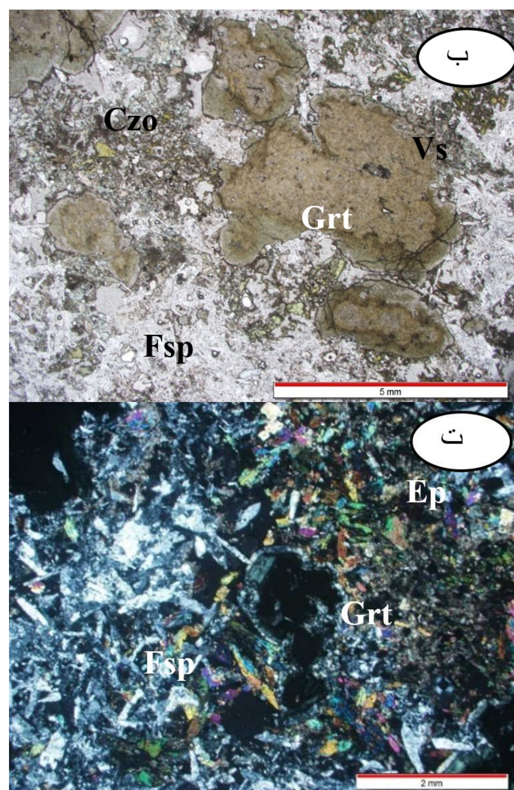
$$Ca^{++}_{(aq)} + SiO_2 + 1/2O_2 \rightarrow CaSiO_3 \quad (۳)$$

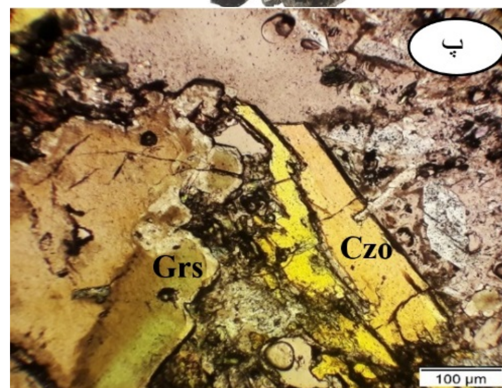
درون‌اسکارن‌ها

سنگ‌های اسکارنی در منطقه‌ای به مساحت ۲۵ کیلومتر مربع و در لایه‌های آهکی و واریزه‌های سنگی، به شکل کانسار پلاسری یافت می‌شوند. وسعت گستره درون‌اسکارن، به علت تخریب توده‌های آذرین در کناره گنبد، به طور دقیق مشخص نیست. این سنگ‌ها با بافت نواری به شکل سنگ‌هایی غنی از فلدسپار، گارنت و اپیدوت در نمونه دستی قابل تشخیص هستند (شکل ۷ الف).

از نظر میکروسکوپی، سنگ‌های درون‌اسکارن شامل ۳۰ درصد فلدسپار، ۲۵ درصد کوارتز همراه با اکتینولیت، ۲۰ درصد گارنت‌های گراندیتی، ۲۰ درصد اپیدوت و ۵ درصد کانی‌های دیگر چون وزوویانیت (ایدوکراز)، ولاستونیت و کلسیت هستند. گراندیت به شکل کانی‌های درشت و ریز در لایه‌های مختلف، به شکل انبوهه‌های نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل همراه با اپیدوت-های گروه پیستاسیت/کلینوزوئیزیت تشکیل شده‌اند. گارنت‌ها در درون‌اسکارن‌ها بیشتر از برون‌اسکارن‌ها منطقه‌بندی شیمیایی نشان می‌دهند که نشانه تزریق پیاپی سیال‌ها به پهنه درون‌اسکارن است (شکل‌های ۷ ب، پ و ت). پراکندگی آن‌ها در سنگ چنان که در شکل ۷ دیده می‌شود، تنها در بخش‌های غنی از آهن است. در این مناطق، فلدسپار کمتری دیده می-شود. بخش‌های غنی از کوارتز سبز همراه با اکتینولیت فراوان در یک لایه نمایان است. وزوویانیت و اکتینولیت و گاهی ولاستونیت در این بخش از سنگ با فراوانی کمتر دیده می-شوند. فلدسپات‌های قلیایی و پلاژیوکلازهای آنورتیت-الیگوکلاز در متن سنگ نمایان‌اند. کلسیت تنها در بخش‌هایی از سنگ و به شکل بین‌بلوری همراه با کوارتز دیده می‌شود. انبوهه‌های کوارتز سبز در سنگ‌های درون‌اسکارن وجود دارند.







شکل ۷ الف- نمونه سنگ درون‌اسکارنی دارای گراندیت + اپیدوت + اکتینولیت. ب- گارنت + کلینوزوئیزیت + وزوویانیت به همراه فلدسپار (Ppl)، پ- محل تماس گارنت گروسولاریتی و کلینوزوئیزیت زردرنگ در سنگ (Ppl) و ت- رشد فراوان اپیدوت و فلدسپار پیرامون گارنت‌ها (Xpl).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

زمین شیمی

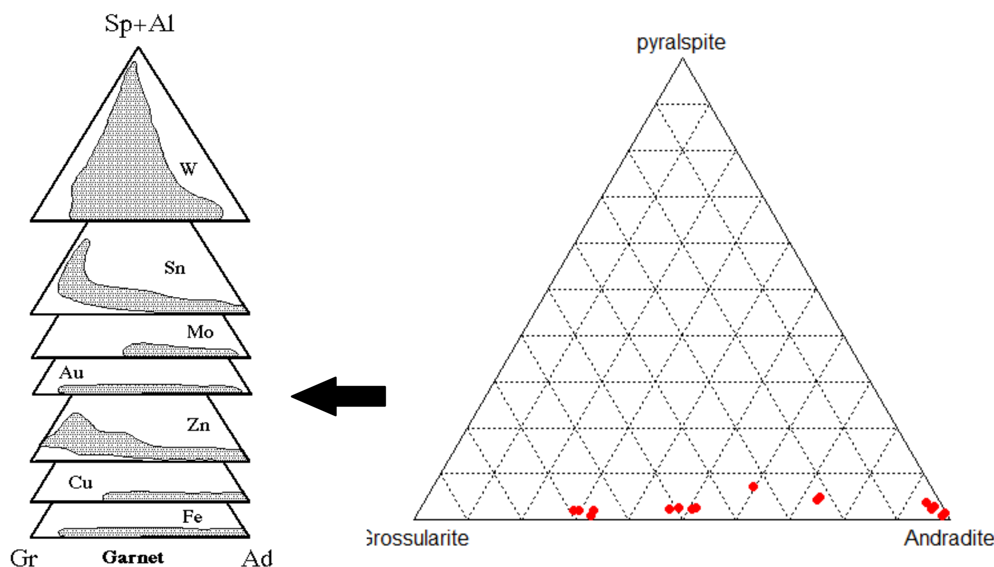
داده‌های تجزیه ریزپردازشی نمونه سنگ‌های اسکارنی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. براساس تجزیه گارنت‌ها، اپیدوت‌ها و ولاستونیت از نمونه سنگ‌های اسکارن، مجموعه کانی‌های همبرزاد و با ترکیب‌های متفاوت در دو پهنه اسکارنی بررسی شدند. بر این اساس، گارنت‌ها در درون‌اسکارن و برون‌اسکارن دارای ترکیب بین آندرادیت و گروسولار هستند. این گارنت‌ها اغلب در اسکارن‌های دگرنهاده تشکیل می‌شوند [۱۵]. ترکیب آن‌ها به طور کلی بر نمودار مثلثی گروسولار- پیرالسپیت- آندرادیت (شکل ۸) نشان داده شده‌اند. مقایسه آن با گستره ترکیبی اسکارن‌های وابسته به کانسارهای فلزی مختلف نشان می‌دهد که ترکیب گارنت‌های مورد بررسی شبیه گارنت‌های مربوط به کانسارهای مس است (شکل ۸). بررسی شیمی بلورهای گارنت نشان می‌دهد که گارنت‌ها در گنبد نمکی زندان از نوع گراندیت و با منطقه‌بندی شیمیایی هستند. این گارنت‌ها دارای عناصری چون منگنز، وانادیوم و روی هستند و مقدار آلومینیوم و تیتانیوم پایینی دارند (جدول ۱).

جدول ۱ نتایج تجزیه ریز پردازشی نمونه‌های سنگی از درون‌اسکارن و برون‌اسکارن‌ها.

		SiO2	TiO2	Al2O3	CaO	Fe2O3	V2O5	MnO	MgO	ZnO	K2O	CuO	ZrO2
LMOG متاکربنات	گارنت	۴۷٫۲۳		۴٫۷۶	۴۱٫۲۳	۶٫۱۸		۰٫۵۲				۰٫۰۴	۰٫۰۴
	گارنت	۴۸٫۲۱	۰٫۱۴	۷٫۶۹	۳۸٫۸۱	۴٫۵۷		۰٫۴۷				۰٫۰۷	۰٫۰۴
	گارنت	۴۸٫۷۱			۴۳٫۹۴	۶٫۸۲		۰٫۴۹				۰٫۰۴	
	گارنت	۴۸٫۳۳		۶٫۳۵	۳۹٫۷۱	۴٫۹۹		۰٫۵۳				۰٫۰۵	۰٫۰۴
	گارنت	۴۹٫۸۳		۳٫۶۷	۴۰٫۵۱	۵٫۴۳	۰٫۰۴	۰٫۴۴				۰٫۰۶	۰٫۰۳
	ولاستونیت	۴۶٫۶۶		۲٫۲۳	۴۷٫۵۷	۳٫۲۴	۰٫۰۴	۰٫۱۵	۰٫۰۸				۰٫۰۴
	گارنت	۴۸٫۶۳	۰٫۱	۷٫۰۷	۳۸٫۹۵	۴٫۷۲		۰٫۴۶				۰٫۰۵	۰٫۰۳
	گارنت	۴۸٫۴۴	۰٫۱	۸٫۰۲	۳۸٫۳۹	۴٫۵۴		۰٫۰۷				۰٫۰۱	۰٫۰۳
	اپیدوت	۴۴٫۲۶		۲۷٫۶۳	۲۵٫۲۶	۲٫۶۵		۰٫۰۷					۰٫۰۳
	کوارتزسبز	۷۵٫۲		۱٫۵۷	۱۸٫۵۳	۴٫۱۶		۰٫۲۶	۰٫۱۲		۰٫۱		
	کوارتزسبز	۷۷٫۱۳			۱۸٫۳	۴٫۰۸		۰٫۲۱	۰٫۱۲		۰٫۱۳		۰٫۰۳
	کوارتزسبز	۷۶٫۵۱			۱۸٫۵۵	۴٫۴۷		۰٫۲۴	۰٫۱۲		۰٫۰۸		۰٫۰۳
	کوارتزسبز	۷۷٫۰۵			۱۸٫۲۶	۴٫۱۸	۰٫۰۳	۰٫۲۶	۰٫۱۳		۰٫۰۹		
Lm11 متاتوفیت	گارنت	۴۸٫۱۵			۴۲٫۷۵	۷٫۳۹		۱٫۲۶		۰٫۰۵			
	گارنت	۴۸٫۵۵			۴۲٫۴۴	۷٫۱۶	۰٫۴	۱٫۱۹		۰٫۰۴			۰٫۰۳
	گارنت	۴۹٫۵۲			۴۱٫۷۹	۷٫۰۸	۰٫۳۴	۱٫۲		۰٫۰۴			۰٫۰۳
	گارنت	۴۷٫۹۱	۰٫۱۱	۳	۴۱	۶٫۲۶	۰٫۴۹	۱٫۱۲		۰٫۰۴			۰٫۰۳
	گارنت	۴۹٫۷۷			۴۱٫۶	۶٫۹۳	۰٫۴۵	۱٫۱۴		۰٫۰۸			۰٫۰۳
	گارنت	۴۸٫۹۴			۴۲٫۰۲	۷٫۱۴	۰٫۵۸	۱٫۲۱		۰٫۰۷			۰٫۰۴
	گارنت	۴۹٫۰۴			۴۱٫۷۳	۷٫۱۶	۰٫۵۱	۱٫۱		۰٫۰۷			۰٫۰۴
	گارنت	۴۷٫۱۳			۴۲٫۸۴	۷٫۳۲	۰٫۴۷	۱٫۱۳		۰٫۰۸			۰٫۰۴
	کوارتزسبز	۷۷٫۴			۱۸٫۲۱	۳٫۲۵		۰٫۹۹	۰٫۱۳				۰٫۰۳
	کوارتزسبز	۷۴٫۹۹		۱٫۹۲	۱۸٫۲۹	۳٫۰۵		۱٫۰۶	۰٫۱۴		۰٫۱۱		۰٫۰۳
	کلینوزوئیزیت	۴۴٫۰۷		۲۶٫۹۲	۲۵٫۶۷	۳٫۱۵						۰٫۰۵	
	کلینوزوئیزیت	۴۴٫۷۳		۲۷٫۸	۲۴٫۵۵	۲٫۷۸		۰٫۰۹					۰٫۰۳
	پتاسیم فلدسپار	۶۲٫۲۷		۱۹٫۷۳		۶٫۹۴		۰٫۰۵			۸٫۹۳		۰٫۰۲
	گارنت	۴۷٫۱۵	۰٫۲	۷٫۵۸	۳۹٫۳	۵٫۱۴		۰٫۴۲		۰٫۱۵			۰٫۰۳
	گارنت	۴۹٫۰۳	۰٫۶۷	۴٫۳	۴۰٫۳۱	۵٫۲۲		۰٫۴۲		۰٫۱۵			
	گارنت	۴۷٫۲۳	۰٫۸۱	۶٫۱۱	۳۷٫۳۲	۴٫۷۷		۰٫۴۱		۰٫۰۵			۰٫۰۵
LmC1 متاکربنات	گارنت	۵۱٫۴۷			۴۳٫۶	۷٫۶۹		۰٫۴۶		۰٫۰۷			
	گارنت	۴۸٫۰۳		۰٫۳۵	۴۳٫۳۸	۷٫۱۹		۰٫۴۳		۰٫۰۸			۰٫۰۳
	گارنت	۴۸٫۸۶		۰	۴۳٫۱۶	۶٫۹۲		۰٫۴۳					۰٫۰۵
	گارنت	۴۸٫۲۳		۰	۴۳٫۶۲	۷٫۰۵		۰٫۴۵					۰٫۰۴
	گارنت	۴۸٫۷۸		۳٫۹	۴۰٫۷۷	۵٫۶۵		۰٫۴				۰٫۰۵	
رگه A	گارنت	۴۸٫۵۴	۰٫۰۶	۶٫۲۶	۳۹٫۰۷	۵٫۳۹	۰٫۰۵	۰٫۶۳					
	گارنت	۵۰٫۵۲			۴۲٫۰۴	۷٫۰۵		۰٫۳۶					۰٫۰۳
	گارنت	۴۷٫۶۵			۴۲٫۲۳	۷٫۶۹		۰٫۳۹					۰٫۰۳
	گارنت	۴۹٫۲۹			۴۲٫۹۹	۷٫۳۲		۰٫۳۸					۰٫۰۲
	کوارتزسبز	۷۴٫۴۶		۳٫۱	۱۷٫۷	۳٫۶۳		۰٫۹	۰٫۱۳	۰٫۰۵			۰٫۰۴
	کوارتزسبز	۷۱٫۱۳		۴٫۶۶	۱۸٫۵۳	۴٫۱۸		۱٫۱۵	۰٫۱۲	۰٫۰۳	۰٫۰۹		

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]

[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]



شکل ۸ موقعیت ترکیبی ۲۸ نقطه از گارنت‌های تجزیه شده بر نمودار مثلثی گروسولار- پیرالسپیت- آندرادیت و مقایسه آن با گستره ترکیبی اسکارن‌های وابسته به کانسارهای فلزی مختلف. دیده می شود که ترکیب گارنت‌های مورد بررسی شبیه ترکیب گارنت‌های مربوط با کانسارهای مس است [۱۶].

بیشتر گارنت‌ها در برون‌اسکارن و درون‌اسکارن‌ها دارای ترکیب غالب آندرادیت (غنی از آهن و کلسیم) هستند. از جمله عوامل مؤثر در تشکیل این نوع گارنت‌های دوگانه عبارتند از ۱- تغییرات دوره‌ای در ترکیب سیال [۱۷]، ۲- تغییر شرایط گریزندگی اکسیژن- دما- فشار (P-T-ƒO2) در سنگ‌ها [۱۸]، ۳- نفوذپذیری بالای ماسه‌سنگ‌ها و توف‌های کربناتی که جریان آسان و ته‌نشست سریع سیال‌های آهنی را ممکن می‌سازد. با بررسی شیمی بلور، درباره محیط نهشت گارنت‌ها در گنبد زندان می‌توان گفت که ترکیب کانی‌ها در سنگ‌ها به عواملی چون تغییرات ترکیبی سنگ میزبان و نهشت یکباره سیال در درزه‌های سنگ‌ها بستگی دارد. بنابراین تغییرات کمی در شیمی گارنت‌ها و اپیدوت‌ها در سنگ‌های میزبان مختلف دیده می‌شود.

براساس تجزیه ریزپردازشی، که عناصر فلزی و شبه فلزی چون Fe، Mg، Cu، V، Al، Mn، Zn در کانی‌های سیلیکاتی آهکی این اسکارن‌ها یافت می‌شوند. این عناصر در درون‌اسکارن‌ها مانند نمونه Lm11 و در برون‌اسکارن‌ها از جمله نمونه‌های LMOG، LmC1 و A متفاوت توزیع شده‌اند. مقدار CuO در گارنت‌های برون‌اسکارن‌ها افزایش می‌یابد و اکسیدهایی چون ZnO، V_2O_5 و MnO در گارنت‌های درون-اسکارن بیشتر هستند. عواملی چون نزدیکی به منبع سیال و نوع قابلیت حمل عناصر مختلف فلزی در سیال‌های کانسارساز می‌تواند سبب تمرکز عناصر در پهنه‌های مختلف شود.

گارنت‌ها با ترکیب گروسولاریت در درون‌اسکارن‌ها یافت می‌شوند که به علّت حضور پلاژیوکلازهای کلسیمی و آلومینیوم بیشتر در سنگ میزبان است. گارنت‌های نوع گروسولار با کلینوزوئیزیت‌های زردرنگ همبرزاد هستند (شکل ۹). این امر نیز نشان‌دهنده وجود Al بیشتر در درون‌اسکارن‌هاست. نتایج تجزیه اپیدوت‌ها و ولاستونیت در درون‌اسکارن‌ها در جدول ۱ را مشاهده می‌کنید و تصاویر مربوط به تجزیه کانی‌های همبرزاد گروسولار + آندرادیت + کلینوزوئیزیت + ولاستونیت در شکل ۹ آورده شده‌اند.

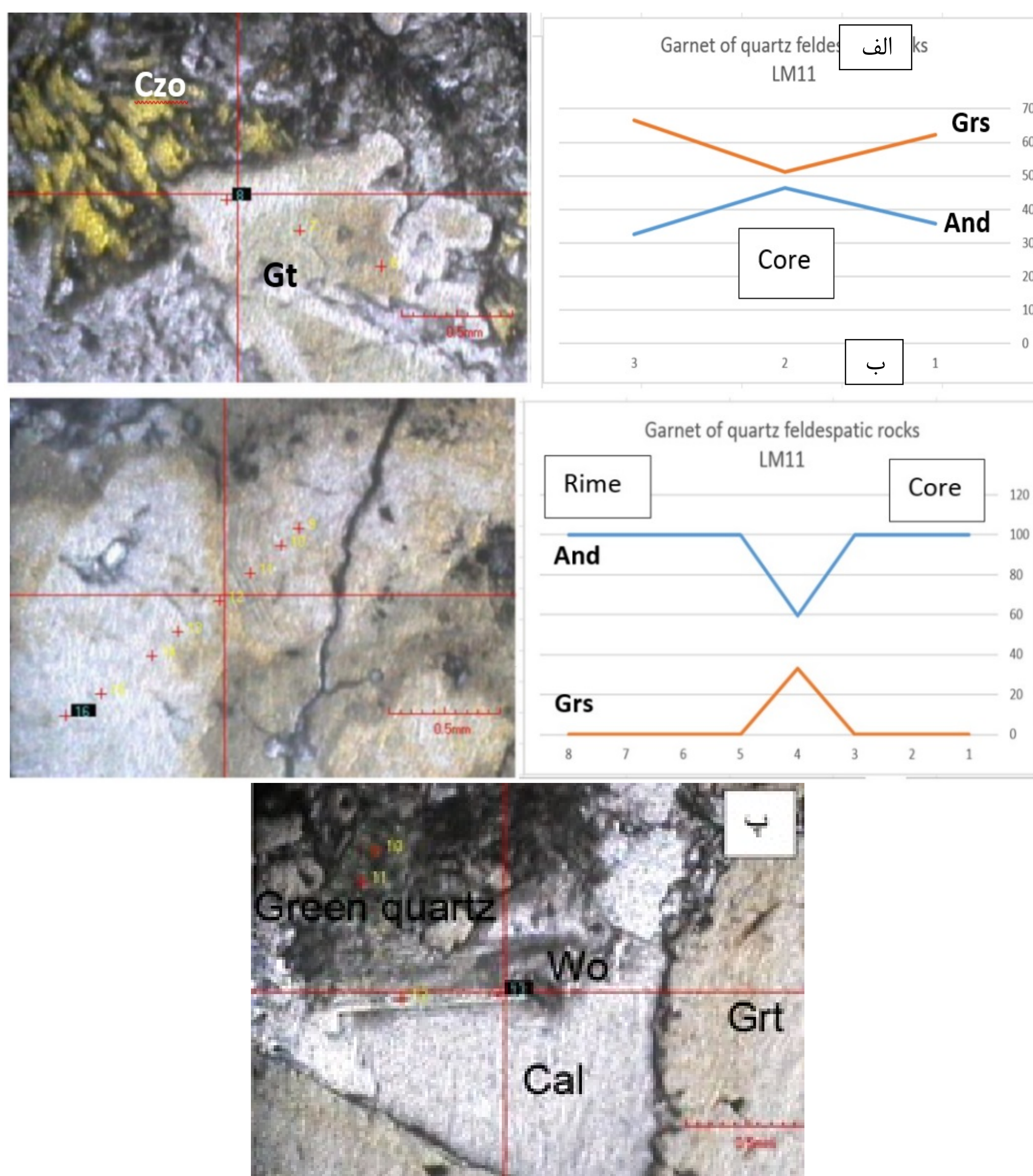
مراحل تشکیل و توالی همبرزایی

بررسی کانی‌شناسی اسکارن نشان می‌دهد که سیال‌های غنی از آهن دارای شرایط خوبی برای کانی‌زایی بوده و توانسته‌اند در فضاهای خالی سنگ‌ها کانی‌سازی کنند. با توجه به الگوی نفوذ سیال‌های در منطقه و برآورد مقدار XCO_2 و XH_2O در سیال‌های اسکارن‌ساز، می‌توان به قدرت نفوذ سیال‌های اسکارن‌ساز پی‌برد. هر چه حجم سیال‌های و دمای آن‌ها بیشتر باشد، قدرت نفوذ آن‌ها نیز بیشتر است.

گارنت‌های نوع گراندیت دربردارنده اطلاعات بسیاری پیرامون چگونگی تشکیل و ته‌نشست سیال‌های گرمابی هستند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

بر پایه بررسی‌های انجام شده، بیشتر کانی‌ها در مرحله پیشرونده ورود سیال و ته‌نشست آهن متبلور شده‌اند. گارنت نخستین کانی است که در سنگ‌ها متبلور می‌شود و بنابراین بسیاری از ویژگی‌های TPX سیال‌ها و حتی سن دقیق رخداد گرمابی را می‌توان با آن تعیین کرد. آندرادیت، اسفن، وزوویانیت، فلدسپارها، ولاستونیت و حتی کلینوزوئیزیت در درون‌اسکارن از کانی‌هایی هستند که در مرحله پیشرونده تشکیل می‌شوند (جدول ۲). کانی‌های آبدار چون آمفیبول‌های گروه اکتینولیت-ترمولیت و اپیدوت مربوط به مرحله تبلور کوارتز یعنی مرحله پسرونده اسکارن هستند، زیرا همراه با افزایش SiO_2 در سیال، مقدار H_2O نیز افزایش می‌یابد. کوارتز و کلسیت از جمله کانی‌های پایانی مراحل اسکارن‌ساز و نیز مرحله قهقرایی هستند.



شکل ۹ الف- ترکیب گارنت‌های همبرزاد با کلینوزوئیزیت که نشان‌دهنده ترکیب گروسولاریت برای آن‌هاست (نور طبیعی)، ب- نتایج تجزیه ریز پردازشی کانی‌های گراندیت در درون‌اسکارن‌ها از مرکز به لبه کانی که تغییر ناگهانی ترکیب را نشان می‌دهد (نمونه Lm11) و پ- تشکیل ولاستونیت در بین گارنت‌های نوع آندرادیت به همراه کوارتزسبز که در گوشه سمت چپ بالای تصویر دیده می‌شود (نور طبیعی).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

جدول ۲ مراحل تشکیل و توالی همبرزایی کانی‌ها در اسکارن‌های آهن گنبد نمکی زندان.

نام کانی	مرحله پیشرونده اسکارن	مرحله پسرونده اسکارن	مرحله قهقرایی
گارنت	◆		
کلینوزوییزیت	◆		
وزوویانیت	◆		
اسفن	◆		
اکتینولیت/ترمولیت		◆	
ولاستونیت	◆		
فلدسپار	◆		
اپیدوت		◆	
کوارتز		◆	◆
کلسیت		◆	◆

دماسنجی

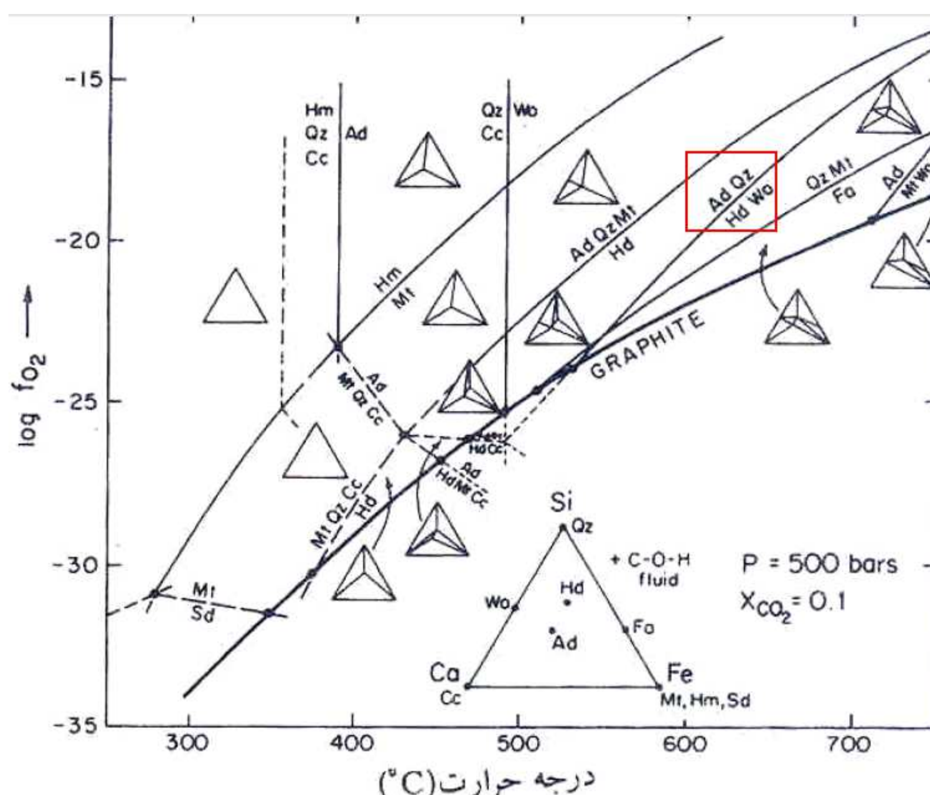
برای پی‌بردن به شرایط فیزیکوشیمیایی دقیق اسکارن آهن زندان، سیال‌های درگیر بررسی شدند. در این پژوهش، سیال-های درگیر موجود در آندرادیت‌ها بررسی شدند. انواع میانبارهای سیال بررسی شده در کانی آندرادیت که در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند، غنی از فازهای سیال و بخار و بیشتر از نوع اولیه و دوفازی بوده‌اند. به علت بیشینه دمای ۶۰۰ درجه سانتیگراد دستگاه و همگن نشدن مواد تشکیل دهنده میانبار تا آن دما، تنها دمای همگن شدگی بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتیگراد تشخیص داده‌شد. این دمایی است که کانی‌های ولاستونیت و فلدسپارها توانسته‌اند در اسکارن مورد بررسی تشکیل شوند. بر اساس این بررسی، دما چه در برون‌اسکارن و چه در درون-اسکارن بالا بوده است. بر پایه یافته مرجع [۱۹]، کانی سری پیستاسیت/کلینوزوئیزیت و واکنش‌های تعادلی میان آن دو، در ۰٫۳ گیگاپاسکال و دمای ۵۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد پایدار است. این کانی چنان که گفته شد در گستره درون‌اسکارن و در توده نفوذی دیده شده‌است.

براساس نمودار T- fO_2 برای تعیین دمای اسکارن (شکل ۱۱). در دمای بالاتر از ۵۸۰ درجه سانتیگراد و با حضور مقدار بالای کوارتز، هدنبرژیت با آندرادیت جایگزین شده و ولاستونیت تشکیل می‌شود. بر پایه این نمودار، $fO2$ بیش از ۲۲- و دماهای بالاتر از ۵۰۰ درجه سانتیگراد، گستره پایداری ولاستونیت به جای کلسیت و کوارتز است. شرایط دما و فشار تنها محدود به سنگ‌های مورد بررسی نیست و برای درک چگونگی رخداد، افزون بر آگاهی از کانی‌های همبرزاد در مجموعه اسکارنی، می‌باید به همه عوامل از جمله تغییرات بافتی در سنگ‌میزبان و لبه های توده‌های آذرین نیز توجه شود. برای مثال، برون‌اسکارن‌های یافت‌شده در بین لایه‌های سنگی دمای کمتری از درون‌اسکارن‌های دارای ولاستونیت، گراندیت و کلینوزوئیزیت داشته‌اند.



شکل ۱۰ سیال‌های درگیر در کانی گارنت نوع آندرادیت. میانبار دو فازی غنی از مایع آبگین و بخار. این میانبارها اولیه بوده و در راستای زوایای خطوط رشد گارنت دیده شده‌اند.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]



شکل ۱۱ نمودار سامانه Ca–Fe–Si–C–O–H و تعیین شرایط دمایی در برون‌اسکارن‌های گنبدنمکی زندان. مربع نشان‌دهنده مجموعه کانیایی، Ad : آندرادیت؛ Hd : هدنبرژیت؛ Qz : کوارتز و Wo : ولاستونیت است [۲۰].

برداشت

از بررسی مجموعه سنگ‌های اسکارنی زندان نتایج زیر به دست آمد:

۱. اسکارن‌های موجود در گنبد نمکی زندان بیشتر از نوع کلسیمی آهن‌دار هستند و در لایه‌های سنگی کربناتی چون ماسه‌سنگ‌ها و توفیت‌های آهکی، آهک‌های دولومیتی و در کنار آهن‌زایی و کانسار مس دیده می‌شود.

۲. مجموعه کانی‌ها در درون‌اسکارن‌ها و برون‌اسکارن‌ها از نظر گروه‌های کانی بسیار شبیه هستند، ولی از نظر عناصر شیمیایی تفاوت نشان می‌دهند. مجموعه کانی‌ها شامل گراندیت + اپیدوت + اکتینولیت و گاهی ولاستونیت و وزوویانیت (ایدوکراز) هستند. گاهی سنگ‌های اسکارنی غنی از فلدسپارها هستند که نشان‌دهنده تشکیل اسکارن در سنگ‌های درون‌اسکارن است.

۳. اسکارن‌های آهن مورد بررسی از نظر مراحل تشکیل در مرحله اسکارن پیشرونده طی دگرگونی مجاورتی شامل دو مرحله پیشرونده که کانی‌های غنی از آهن در آن شکل می‌گیرند و پسرونده که رگچه‌های کوارتز و کلسیت سنگ را فرا می‌گیرند هستند.

۴. بر اساس بررسی‌شیمی بلور، گارنت‌ها در درون‌اسکارن‌ها و نیز برون‌اسکارن‌ها بیشتر ترکیب آندرادیتی دارند. گارنت در درون‌اسکارن گاهی ترکیب گروسولار نیز دارد که به علت وجود آلومینیوم بالا در محیط است. بنابراین ترکیب‌های غنی از گروسولار با کانی‌های غنی از آلومینیوم چون اپیدوت‌های سری پیستاسیت/کلینوزوییزیت و آنورتیت همراه هستند. گارنت در برون‌اسکارن‌ها به صورت آندرادیت‌های درشت گاهی همراه با اکتینولیت و پیستاسیت یافت می‌شود.

۵- بر طبق بررسی پراکندگی زمین شیمیایی عناصر در کانسار اسکارنی، سیال‌های اسکارن‌ساز غنی از آهن و به مقدار کمتر عناصر فلزی ماگمازاد چون مس، وانادیوم، منگنز، زیرکونیوم و روی هستند. مقدار بالای اکسید مس در برخی از گارنت‌ها به

[DOR: 20.1001.1.17263689.1401.30.1.7.1]
[DOI: 10.52547/ijcm.30.1.89]

ویژه در برون‌اسکارن‌ها نشان‌دهنده ارتباط آن‌ها با کانسار مس یافت‌شده پیرامون توده‌های دیابازی است.

۶. بر اساس بررسی سیال‌های درگیر در بلور آندرادیت، دمای سیال‌های داغ غنی از آهن ۶۰۰ تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد است. با توجه به یافته‌های دماسنجی، اسکارن‌های آهن زندان شرایط دمایی بالا مانند نفوذ سیال های داغ ماگمازاد در فضاهای خالی را پشت سر گذاشته‌اند.

قدردانی

از راهنمایی‌های ارزشمند خانم دکتر هویس، خانم دکتر پشت کوهی و آقای دکتر صادقیان تشکر می‌کنیم و همچنین قدردان زحمات آقای سلیمانی هستیم.

مراجع

[1] Aghanabati A., *Geological of Iran, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran,* 2004, 707.

[2] Biabangard H., Alian F. and Bazamad M., *“Petrography, mineralization and mineral explorations in the Zendan salt dome (Hara), Bandar Lengeh”,* Journal of Economic Geology, V. 10, No. 1, 2018, 24.

[3] Daryanavard A., Bonyadi Z., Rahmani S., *“Investigation and the genesis of alterations of Zendan salt dome by satellite datas”,* 2018, 26th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran (SCMI). 8.

[4] Attapour, H. and Aftabi, A., *“New mode Rapitan banded iron for Hormoz iron deposit، Bandar Abbas. 33th national geosciences symposium, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran”، Tehran, Iran. 2011.*

[5] Ahmadzadeh Heravi, M., Houshmandzadeh, A. and Nabavi, M.H., *“New concepts of Hormuz formations, stratigraphy and the problem of salt diapirism in south of Iran”. International Journal of Geosciences, 1991, 3(7):1– 22.*

[6] Ala M.A., *“Salt diapirism in southern Iran”, American Association of Petroleum Geologists Bulletin 58, 1974, 1758-1770.*

[7] O'Brien, G.D., *“Survey of diapirs and diapirism”. Memoir, American Association of Petroleum Geologists, 1968.*

[8] Gansser, A., *“The enigma of the Persian salt dome inclusions, Symposium on Swiss Molasse Basinp”, 1992.p 825-846.*

[9] Kent P.E., *“The salt of the Persian Gulf region”. Trans. Leics. Lit. Philos. Soc., 1970, 64, 56-88.*

[10] Edgell H. S., *“Salt tectonism in the Persian Gulf Basin”, Geological Society, London, Special Publications, 1996, 100, 129-15*

[11] Talbot, C.J. & Alavi, M., *“The past of a future syntaxis across the Zagros”. In: Alsop, G.I., Blundell, D. & Davison, I. (eds) Salt Tectonics. Geological Society, London, Special Publications, 1996, 100, 89–109.*

[12] Bosak P., Jaros J., Spudil J., Sulovsky P. and Vaclavek V., *“Salt Plugs in the Eastern Zagros, Iran: Results of regional geological reconnaissance”, GeoLines, 1998, 7, 3-174.*

[13] Jahani S., Callot J.P., Letouzey J., Dominique Frizon de Lamotte, *“The eastern termination of the Zagros Fold-and-Thrust Belt, Iran: Structures, evolution, and relationships between salt plugs, folding, and faulting”*, Tectonics, 2009, 28, p. 22.

[14] Sheibi M., *“Mineralisation and petrogenesis of Chaloo iron skarn deposit, SE Damghan”, Crystallography and Mineralogy Magazine, 2016, n 24, 449-460.*

[15] Becker U. and Pollok K., *“Molecular simulations of interfacial and thermodynamic mixing properties of grossular-andradite garnets”, Phys Chem Minerals, 2002, 29, 52-64.*

[16] Meinert, L.D.,*“Skarns and skarn deposits”. Geoscience Canada,* 19, 1992, 145-162.

[17] Jamtveit, B., *“Oscillatory zonation patterns in hydrothermal grossular-andradite garnet: nonlinear dynamics in regions of immiscibility”,* American Mineralogist, 1991, 76, 1319-1327.

[18] Jamtveit, B., Wogelius, R.A., Fraser, D.G., “*Zonation patterns of skarn garnets: Records of hydrothermal system evolution”,* Geology, 1993, v. 21, 113-116.

[19] Fehr K.T. and Heuss-Aβbichler S., *“Intracrystalline equilibria and immiscibility*

[20] Einaudi, M.T., *“General features and origin of skarns associated with porphyry copper plutons: Porphyry Copper Deposits”,* Am. Adv. Geol, 1982a, p.p 185-209.

along the join clinozoisite- epidote: An experimental and 57Pe Mössbauer study”, N. Jb. Miner.Abh, 1997, 172, 43-67.